



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 44 28 418 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
A 62 D 3/00
H 05 H 1/46
B 01 D 53/00

②1 Aktenzeichen: P 44 28 418.7
②2 Anmeldetag: 11. 8. 94
④3 Offenlegungstag: 15. 2. 96

DE 44 28 418 A 1

⑦1 Anmelder:
Buck Werke GmbH & Co, 73337 Bad Überkingen, DE

⑦4 Vertreter:
Patent- und Rechtsanwälte BOEHMERT &
BOEHMERT, NORDEMANND UND PARTNER, 28209
Bremen

⑦2 Erfinder:
Bickmann, Herrmann, Dipl.-Ing., 71254 Ditzingen, DE;
Nauenburg, Klaus, Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., 72072
Tübingen, DE; Weichart, Jürgen, Dipl.-Phys. Dr.-Ing.,
70794 Filderstadt, DE; Scherer, Werner, Dipl.-Ing.,
54338 Schweich, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe

⑤7 Offenbart werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe, wobei der toxische Stoff in Gasform mit einem Reaktionsgas vermischt wird; das Gasgemisch in eine Niederdruckplasma-Strecke eingeführt wird, auf der auf das Gasgemisch Mikrowellenenergie mindestens einer ersten wählbaren Frequenz und ausreichender Intensität aufgegeben wird, wodurch der toxische Stoff in kleinere chemische Einheiten zerlegt wird; die Zerlegung durch Erfassen und Auswerten der charakteristischen Lichtabstrahlung des Plasmas überwacht wird; wobei beim Austreten aus der Niederdruckplasma-Strecke die kleineren chemischen Einheiten zu festen oder gasförmigen Reaktionsprodukten reagieren, die festen Reaktionsprodukte abgeschieden und die gasförmigen Reaktionsprodukte abgesaugt und gegebenenfalls weiterverarbeitet werden; wobei beim Austreten aus der Niederdruckplasma-Strecke den kleineren chemischen Einheiten ein Quench-Gas oder Reaktivgas zugeführt wird. Offenbart werden weitestgehend Systeme aus mehreren dergleichen Vorrichtungen.

DE 44 28 418 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe, bei dem der toxische Stoff in Gasform mit einem Reaktionsgas vermischt wird, das Gasgemisch in eine Niederdruckplasma-Strecke eingeführt wird, auf der auf das Gasgemisch Mikrowellenenergie mindestens einer ersten wählbaren Frequenz und ausreichender Intensität aufgegeben wird, wodurch der toxische Stoff in kleinere chemische Einheiten zerlegt wird, die Zerlegung durch Erfassen und Auswerten der charakteristischen Lichtabstrahlung des Plasmas überwacht wird, wobei beim Austreten aus der Niederdruckplasma-Strecke die kleineren chemischen Einheiten zu festen oder gasförmigen Reaktionsprodukten reagieren, die festen Reaktionsprodukte abgeschieden und die gasförmigen Reaktionsprodukte abgesaugt und gegebenenfalls weiterverarbeitet werden. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe sowie Systeme, die aus solchen Vorrichtungen aufgebaut sind.

Die Entsorgung von gefährlichen und hochgiftigen Stoffen hat sich in den letzten Jahren zu einem äußerst brisanten Thema entwickelt. Die Verbrennung in zentralen Hochtemperaturverbrennungsanlagen ist zunehmend in Frage gestellt, einmal durch aufwendige Genehmigungsverfahren, weiter durch fehlende Akzeptanz bei der Bevölkerung und nicht zuletzt durch Gefahren beim Transport. Es ist daher anzustreben, die Entsorgung dezentral durchzuführen, möglichst sogar vor Ort. Hierzu werden mobile, kompakte und insbesondere sichere Anlagen benötigt.

Die WO 89/10162 betrifft das Zerlegen von toxischen Abfallmaterialien mittels Zyklotronresonanz, das heißt, eine elektromagnetische Strahlung ausreichender Frequenz und Intensität wird auf eine in einer Reaktionskammer befindlichen Mischung aufgegeben, um ein Zyklotronresonanzplasma zu erzeugen. Diese elektromagnetische Strahlung liegt hauptsächlich im Bereich der Mikrowellen des Spektrums und wird beispielsweise mittels Hohlwellenleiter in die Reaktionskammer eingebracht. Die gesamte Anordnung ist auf niederem Druck gehalten. Ein Satz magnetischer Feldspulen umgibt die Kammer und wird angeregt, so daß ein Basismagnetfeld für die Zyklotronresonanz erzeugt wird, welches die Teilchen im Reaktionsraum hält. Die Überwachung des Plasmaprozesses geschieht beispielsweise durch ein optisches Spektrometer, einen Detektor für die optische Emission und dergleichen. Als Reaktionsgas werden Sauerstoff, Argon, Helium und Stickstoff vorgeschlagen.

Eine ähnliche Vorgehensweise ist in der WO 91/04104 vorgeschlagen. Auch hier wird ein Niederdruckplasma erzeugt, wobei eine Magnetanordnung vorgesehen ist, um das Plasma in einem definierten Bereich der Reaktionskammer zu halten. Weiter wird hier vorgeschlagen, eine Vielzahl von Plasmaerzeugern zu verwenden, die in Reihe geschaltet werden können, wobei jeder dieser Plasmageneratoren einzeln durch Einstellung der Frequenz auf bestimmte chemische Verbindungen abgestimmt werden können.

Unter einem Plasma versteht man die Aufspaltung eines Gases in Ionen und Elektronen. Je nach Gasart und Intensität der aufgegebenen Energie liegt das Gas in unterschiedlichem Maße zerlegt vor. Man unterscheidet Normal- oder Hochdruckplasmen, wie beispielsweise Bogenentladungen, die für die Plasmapyrolyse von Abfall beispielsweise in der DE-C 34 24 710 beschrieben

sind, von Niederdruckplasmen. Bei Normaldruckplasmen befinden sich die Ionen, Elektronen und die Gasmoleküle im thermodynamischen Gleichgewicht. Dies bedeutet, daß sehr hohe Leistungen benötigt werden, um die erforderliche Temperatur für chemische Reaktionen zu erreichen. Im Gegensatz dazu besteht im Niederdruckplasma kein thermodynamisches Gleichgewicht zwischen den Elektronen, die aber aufgrund der verdünnten Gasumgebung höhere Energien aufnehmen können, und den Ionen und neutralen Teilchen, die aufgrund ihrer höheren Masse und ihrer Stöße untereinander "kalt" bleiben. Die Elektronen heizen sich dabei auf eine Temperatur von einigen 10 000° auf, wodurch jede chemische Bindung durch Elektronenstoß lösbar wird. Auch komplexere chemische Verbindung werden bei hohem elektrischem Feld und ausreichender Länge der Entladung praktisch vollständig in die atomaren Bestandteile oder zumindest in sehr kleine Molekülbausteine zerlegt. Diese reagieren beim Austritt aus der Entladung zu einem Spektrum neuer chemischer Verbindungen. Als Endprodukte entstehen energetisch günstige und stabile Verbindungen.

Bisher ist eine Beeinflussung der Entstehung und Reaktionsraten für die einzelnen Endprodukte nur dadurch versucht worden, daß Reaktionsgase vor dem eigentlichen Plasmareaktor eingemischt wurden.

Ausgehend von dem oben geschilderten Stand der Technik ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe zur Verfügung zu stellen, bei dem bzw. bei der unproblematisch entsorgbare Endprodukte mit größerer Zuverlässigkeit als bisher eingestellt werden können.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Gattung dadurch gelöst, daß beim Austreten aus der Niederdruckplasma-Strecke den kleineren chemischen Einheiten ein Quench-Gas zugeführt wird. Dadurch werden die Reaktionsprodukte nicht nur abgekühlt oder verdünnt, es kann sogar eine Nachreaktion eingeleitet werden. Dies bedeutet eine zusätzlich mögliche Nutzung von Niederdruckplasma-Anlagen bei der Behandlung toxischer Stoffe. Allgemein bekannte Vorteile, nämlich ein deutlich geringerer Energieaufwand gegenüber Hochdruckanlagen, geringere entstehende Abwärme und das Hinzufügen beliebiger Reaktionsgase, bleiben erhalten. Zum Eintrag der toxischen Stoffe in das System ist keine Förderpumpe erforderlich, da die Gase beispielsweise direkt über ein Ventil angesaugt werden können.

Der Nachteil des Niederdruckprozesses gegenüber Normal- oder Hochdruckprozessen ist allein die niedrige Reaktionsrate und damit die längere Bearbeitungszeit für eine vorgegebene Menge an toxischem Material. Dies wird aber weit mehr als ausgeglichen dadurch, daß bei der Verwendung von Niederdruckanlagen bei einem Reaktorbruch oder bei Leckagen keine giftigen Stoffe entweichen können.

Als Reaktionsgas werden in einer oxidativen Gasatmosphäre bevorzugt Sauerstoff oder eine Sauerstoff enthaltende Mischung eingesetzt oder in einer reduktiven Gasatmosphäre bevorzugt Wasserstoff oder eine Wasserstoff enthaltende Mischung. Weiter bevorzugt ist es, wenn die Niederdruckplasma-Strecke in ihren Umfangsbereichen gekühlt wird.

Eine Vorrichtung zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe, mit einer Quelle für Reaktionsgas, einem Dosierblock zum Vermischen des toxischen Stoffes in Gasform mit dem Reaktionsgas,

einer Niederdruckplasma-Strecke, auf der auf das Gasgemisch zum Zerlegen des toxischen Stoffes in kleinere chemische Einheiten Mikrowellenenergie mindestens einer ersten wählbaren Frequenz und ausreichender Intensität aufgegeben wird, einer Analysevorrichtung zum Erfassen und Auswerten der charakteristischen Lichtabstrahlung des Plasmas, einem Austrittsblock zum Bilden fester und gasförmiger Reaktionsprodukte, einem Abscheider für die festen Reaktionsprodukte und einer Absaugeinrichtung für die gasförmigen Reaktionsprodukte ist dadurch gekennzeichnet, daß ein den Reaktionsraum vollständiges umgebendes Mikrowellen-Hohlleitersystem und eine mit dem Austrittsblock verbundene Quelle für Quench-Gas bzw. Reaktivgas vorgesehen ist.

Bevorzugt besteht der Reaktionsraum aus einem inneren Rohr, das beispielsweise ein Quarzrohr ist, und einem dieses mit radialem Abstand umgebenden äußeren Rohr, beispielsweise einem Metallrohr, wobei der lichte Raum zwischen dem inneren und dem äußeren Rohr einen Kühlmitteldurchlaß bildet. Bei einer praktischen Ausführungsform wird dieses Reaktionsrohr mit Hilfe eines geschlossenen Druckluftkreislaufes gekühlt. Diese Anordnung kann verwendet werden, um Sicherheitsmaßnahmen einzuschalten. Wenn nämlich ein unter Druck stehendes Medium, wie Druckluft verwendet wird, kann ein plötzlicher Bruch des Reaktionsrohres dadurch erfaßt werden, daß der Druck im Zwischenraum zwischen innerem und äußerem Rohr plötzlich absinkt. Da der Druckluftkreislauf zudem geschlossen ist, kann das toxische Gas nur in diesen geschlossenen Kreislauf entweichen.

Weitere Sicherheitsmaßnahmen können vorgesehen werden, beispielsweise kann der Druck im Reaktionsrohr ständig gemessen werden, so daß bei einem Druckanstieg infolge des Auftretens eines Lecks die Zufuhr des toxischen Gases sofort gestoppt werden kann. Weiterhin kann verfahrenstechnisch gewährleistet werden, daß das toxische Gas nur dann in den Reaktionsraum eingelassen werden kann, wenn dort bereits ein Plasma des Reaktionsgases brennt.

Weiter ist als Absaugeinrichtung für die gasförmigen Reaktionsprodukte bevorzugt eine Trockenläufer-Pumpe einzusetzen. Damit werden die Schwierigkeiten vermieden, die sich eventuell im Zusammenhang mit zu verwendendem Pumpenöl ergeben könnten.

Ebenfalls stellt es eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar, daß stromabwärts des Austrittsblocks eine Rückführung zu einem Verdampfer für toxische Stoffe vorgesehen ist. Wie sich aus dem Nachfolgenden ergeben wird, kann dieser Verdampfer eine weitere derartige Vorrichtung mit toxischen Gasen speisen, es ist aber auch denkbar, zu dem entsprechenden Verdampfer der vorliegenden Vorrichtung zurückzuführen, um etwa unvollständig bearbeitete Produkte erneut der Plasmapyrolyse zu unterwerfen.

Nach einer ersten Ausgestaltung besteht das Mikrowellen-Hohlleitersystem aus mindestens zwei Stufen, wobei in wenigstens einer der nachfolgenden Stufen Mikrowellenenergie mit im wesentlichen derselben Frequenz wie der ersten Stufe aufgegeben wird. Eine solche Anordnung dient insbesondere der Prozesssicherheit, da, sollte die erste Stufe fehlerhaft arbeiten oder gar ausfallen, die nachfolgenden Stufen ohne weiteres ihre Funktion übernehmen können.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, daß das Mikrowellen-Hohlleitersystem aus mindestens zwei Stufen besteht, wobei in den nachfolgenden Stufen Mikrowel-

lenenergie mit einer Frequenz unterschiedlich von der der ersten Stufe aufgegeben wird. Somit läßt sich eine bessere Abstimmung für die Zerlegung unterschiedlicher toxischer Stoffe vornehmen. Es kann dabei gegebenenfalls notwendig werden, in allen Stufen des Mikrowellen-Hohlleitersystems Mikrowellenenergie mit unterschiedlichen Frequenzen aufzugeben.

Bei dieser Ausgestaltung ist es möglich, ein modulares Gerät zu schaffen, dessen Volumen einschließlich nötiger Zusatzgeräte, wie Verdampfer für toxisches Material und Vakuumpumpe sowie Gaswäscher und Gastrennanlagen, 0,5 m³ nicht überschreitet. Dabei bleibt der Stromverbrauch des Moduls kleiner als 10 kW. Solche Module sind zusammen mit einer entsprechenden Eingabeeinheit für die zu entsorgenden toxischen Stoffe und für ihre Aufbereitung auf einem Lastkraftwagen unterzubringen und auch direkt von einem Stromgenerator zu versorgen. Die Vorrichtung gemäß der Erfindung erfüllt neben den bereits geschilderten Vorteilen auch im Hinblick auf leichte Transportierbarkeit und hohe Mobilität die Forderungen, die an ein Gerät für die Entsorgung toxischer Stoffe gestellt wird.

Die Module lassen sich auf einfache Weise verschalten, beispielsweise indem ein System gebildet wird, bei dem die Vorrichtungen mit einer gemeinsamen Eingabeeinheit für toxische Stoffe und einer gemeinsamen Ausgabeeinheit verbunden und zueinander parallel geschaltet sind. Hierdurch wird die Gesamtleistung bei der Entsorgung bzw. Inertisierung erhöht.

Als Alternative könnten die Vorrichtungen in Reihe geschaltet werden. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn in den einzelnen Modulen bzw. Vorrichtungen unterschiedliche Plasmaatmosphären geschaffen werden müssen.

So existieren phosphororganische, toxische Stoffe, beispielsweise Nervenkampfstoffe, die die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Phosphor und Fluor enthalten. Im Plasma sollte zunächst mit einem deutlichen Sauerstoffüberschuß als Reaktionsgas der Phosphor möglichst vollständig in seine höchste Oxidationsstufe V überführt werden. Das entstehende Phosphoroxid P₄O₁₀ ist eine feste ungiftige Verbindung, die im Austrittsblock der Vorrichtung sublimiert und durch den Abscheider abgetrennt werden kann. Es entstehen jedoch auch weiterhin giftige Fluor-Sauerstoff-Verbindungen, die in einer zweiten modularen Vorrichtung wieder zu reduzieren sind. So wird in einem Wasserstoffplasma das Fluor in Fluorwasserstoff umgesetzt, welches in einem nachfolgenden Gaswäscher abgetrennt werden kann. Alternativ besteht die Möglichkeit, das Fluor mit Ammoniak in der Nachreaktion zu Ammoniumfluorid reagieren zu lassen.

Es kann daher durchaus zweckmäßig sein, aufeinanderfolgende Vorrichtungen mit verschiedenen Reaktionsgasen zu beaufschlagen.

Im folgenden soll die Erfindung lediglich beispielhaft anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert werden. Dabei zeigt

Fig. 1 ein schematisches Blockschaubild einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ein System mit drei in Reihe geschalteten Modulen, die wie eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut sind und

Fig. 3 ein System mit fünf parallel geschalteten Modulen, wieder entsprechend den Vorrichtungen der vorliegenden Erfindung aufgebaut.

Der prinzipielle Aufbau einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 1 dargestellt. Aus ei-

ner Quelle 10 für toxische Gase, die beispielsweise auch ein Verdampfer zum Überführen toxischer Stoffe in Gasform sein kann, wird über eine geheizte Leitung ein toxischer Stoff in Gasform in einen Dosierblock 12 eingeführt. Aus der Quelle 10 für Reaktionsgas wird ein geeignetes Reaktionsgas zugemischt, beispielsweise Sauerstoff, falls in oxidierender Atmosphäre gearbeitet werden soll, oder Wasserstoff, falls eine reduzierende Atmosphäre notwendig ist. Das Gasmischungsströmung in ein inneres Rohr 16 als Reaktionsrohr, das aus Quarz besteht und beispielsweise einen Durchmesser von 10 bis 30 mm haben kann. Es ist von einem äußeren Rohr 18, das aus einem Metall besteht, umgeben, wobei mit Hilfe eines geschlossenen Druckluftkreislaufes, bei dem die Druckluft durch den Raum zwischen dem inneren Rohr 16 und dem äußeren Rohr 18 strömt, der Reaktionsbereich gekühlt wird. Das innere Rohr 16 bzw. das metallische Außenrohr 18 sind von einem Mikrowellen-Hohlleitersystem umschlossen, das hier aus drei Stufen besteht. Jede Stufe umfaßt einen Hohlleiter bzw. Resonator 20, 30, 40, in den über ein Magnetron 22, 32, 42 Mikrowellenenergie eingespeist wird. Mit Hilfe eines Kurzschlußschiebers 26, 36, 46 können die jeweils erforderlichen Resonanzbedingungen eingestellt werden. Weiterhin ist wie üblich im Hohlleiter eine Resonatorblende 24, 34, 44 vorgesehen. Die Mikrowellenentladung ist für äußerst hohe Ionisierungsraten bekannt. Wenn eine Mikrowellenentladung in dem Reaktionsrohr 16 gezündet wird, wird sich ein Plasma bilden, bei dem der zu zerlegende toxische Stoff in kleinere chemische Einheiten, bishin zu Atomen oder kleinen Molekülen, aufgespalten werden kann. Vielfach kann eine einzige Stufe des Mikrowellen-Hohlleitersystems ausreichen, es können aber grundsätzlich beliebig viele weitere folgen, um eine vollständige Aufspaltung des toxischen Stoffes sicherzustellen. Außerdem wird bei Ausfall eines solchen Plasmagenerators die Prozeßsicherheit gewährleistet. Im gewählten Beispiel ist zwischen der zweiten Stufe 30 und der dritten Stufe 40 ein Analysegerät 50 zur Erfassung der optischen Emission der charakteristischen Lichtabstrahlung des Plasmas vorgesehen. Dieses Analysegerät besteht aus einem optischen Sensor oder einem optischen Emissionsspektrometer, welches durch einen Mikrocomputer unterstützt ist und bei Unregelmäßigkeiten eine Abschaltung der Vorrichtung erzwingt. Aus der Niederdruckplasma-Strecke innerhalb des Reaktionsrohres 16 treten die kleinen chemischen Einheiten in einen Austrittsblock 60, in dem sie miteinander zu energetisch günstigen und stabilen Verbindungen reagieren. In den Austrittsblock 60 integriert ist ein gekühlter Abscheider 62, an dem die Anteile der Reaktionsprodukte, die feste Verbindungen bilden können, abgeschieden werden. Der Austrittsblock 60 ist mit einer Quelle 70 für ein Quench-Gas oder Reaktivgas verbunden, das die Reaktionsprodukte abkühlt, verdünnt und auch eine Nachreaktion durchführbar macht. Entstehende gasförmige Reaktionsprodukte gelangen in eine Kühlfalle 80 und können, falls dies erforderlich ist, über eine Rückführleitung 88 zu einer zweiten Vorrichtung bzw. dem ihr zugeordneten Verdampfer oder der Quelle für toxische Gase für die weitere Bearbeitung zugeführt werden. Aus der Kühlfalle 80 werden die Gase über eine Trockenläufer-Pumpe 82, die auch als Vakuumpumpe dient, abgesaugt. Hierdurch wird vermieden, daß sich Stoffe im sonst erforderlichen Pumpenöl lösen könnten. Hinter der Pumpe 82 können die gasförmigen Reaktionsprodukte in einer Vorrichtung 84 für die Gasaufbereitung/Gastrennung weiter bear-

beitet werden. In dieser Vorrichtung 84 nicht erfaßte Stoffe werden in einem Gaswäscher oder Gasabsorber 86 gebunden. Diese letzteren beiden Komponenten sind nicht notwendigerweise Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung, sie können, insbesondere bei der Verwendung mehrerer Vorrichtungen diesen nachgeschaltet werden, so daß eine gemeinsame Aufbereitungsanlage für die sich ergebenden gasförmigen Reaktionsprodukte benutzt wird. Schließlich wird über die Leitung 90 Abluft in die Atmosphäre entlassen.

Systeme, bei denen mehrere modular aufgebaute Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden, sind in den Fig. 2 und 3 dargestellt.

In der Fig. 2 ist für drei modulare Vorrichtungen 100, die in Reihe geschaltet sind, eine gemeinsame Eintrageinrichtung 10, also eine Quelle für toxische Gase bzw. ein Verdampfer zum Überführen toxischer Stoffe in Gasform, vorgesehen. Diese toxischen Stoffe in Gasform können in den einzelnen Vorrichtungen 100 Plasmen unterschiedlicher Zusammensetzung und unterschiedlicher Frequenzen ausgesetzt werden. Nach der letzten dieser Vorrichtungen ist eine gemeinsame Ausgabereinheit vorgesehen, die sich insbesondere mit der Weiterbehandlung der gasförmigen Reaktionsprodukte, die aus dem Plasma austreten, befassen.

Fig. 3 stellt wieder eine gemeinsame Eingabeeinrichtung 10 wie im Zusammenhang mit Fig. 2 beschrieben dar. Hier sind fünf der modular aufgebauten Vorrichtungen 100 dargestellt, die zueinander parallel geschaltet sind, so daß sich ein System mit einer etwa fünffachen Leistung gegenüber einer Einzelvorrichtung ergibt. Wieder ist eine gemeinsame Ausgabereinheit 84, 86 vorgesehen.

Bei Betriebsende ist immer zuerst die Zufuhr des toxischen Gases und dann das Plasma abzuschalten. Bei einem Ausfall der Versorgungsspannung sollte im Austrittsblock ein stromlos abfallendes Ventil verhindern, daß nicht verbranntes Gas in die Vakuumpumpe 82 gelangt.

Die in der vorstehenden Beschreibung, der Zeichnung und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

Bezugszeichenliste

- 10 Quelle für toxische Gase bzw. Verdampfer zum Überführen toxischer Stoffe in Gasform
- 12 Quelle für Reaktionsgas
- 14 Dosierblock
- 16 Reaktionsrohr
- 18 Mantelrohr
- 20 Hohlleiter (Resonator)
- 22 Magnetron
- 24 Resonatorblende
- 26 Kurzschlußschieber
- 30 Hohlleiter (Resonator)
- 32 Magnetron
- 34 Resonatorblende
- 36 Kurzschlußschieber
- 40 Hohlleiter (Resonator)
- 42 Magnetron
- 44 Resonatorblende
- 46 Kurzschlußschieber
- 50 Analysegerät zur Erfassung der optischen Emission
- 60 Austrittsblock (mit Abscheider für Feststoff)
- 62 Abscheider

70 Quelle für Quench-Gas/Reaktivgas
 80 Kühlfalle
 82 Trockenläufer-Pumpe
 84 Vorrichtung zur Gasaufbereitung/Gastrennung
 86 Gaswäscher/Absorber
 88 Rückföhrleitung zu 10
 90 Abluftleitung

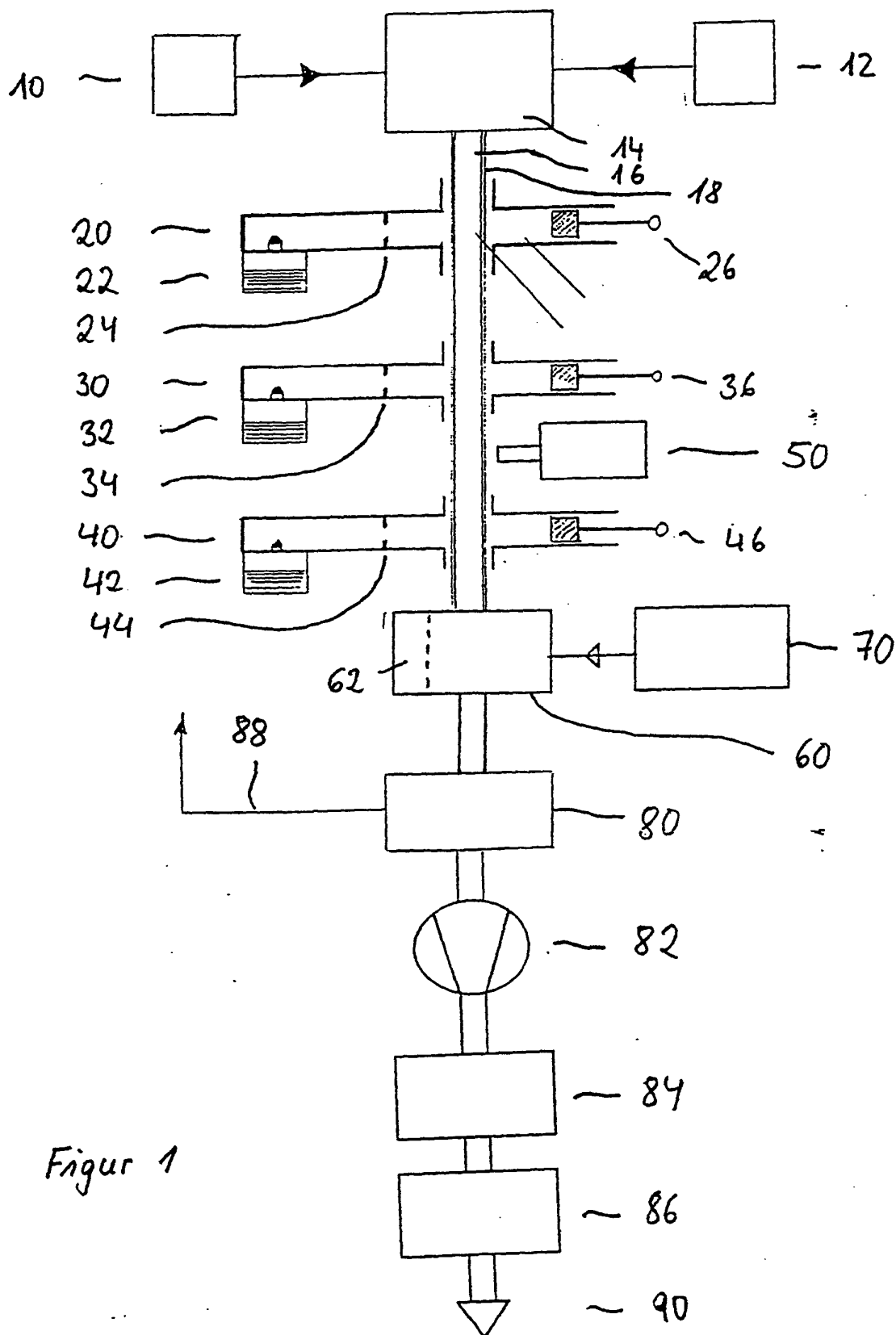
Patentansprüche

1. Verfahren zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe, bei dem der toxische Stoff in Gasform mit einem Reaktionsgas vermischt wird;
 das Gasgemisch in eine Niederdruckplasma-Strecke eingeföhrt wird, auf der auf das Gasgemisch Mikrowellenenergie mindestens einer ersten wählbaren Frequenz und ausreichender Intensität aufgegeben wird, wodurch der toxische Stoff in kleinere chemische Einheiten zerlegt wird;
 die Zerlegung durch Erfassen und Auswerten der charakteristischen Lichtabstrahlung des Plasmas überwacht wird;
 wobei beim Austreten aus der Niederdruckplasma-Strecke die kleineren chemischen Einheiten zu festen oder gasförmigen Reaktionsprodukten reagieren, die festen Reaktionsprodukte abgeschieden und die gasförmigen Reaktionsprodukte abgesaugt und gegebenenfalls weiterverarbeitet werden;
dadurch gekennzeichnet, daß beim Austreten aus der Niederdruckplasma-Strecke den kleineren chemischen Einheiten ein Quench-Gas oder Reaktivgas zugeföhrt wird.
 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Reaktionsgas in einer oxidativen Gasatmosphäre bevorzugt Sauerstoff (O₂) oder eine Sauerstoff enthaltende Mischung und in einer reduktiven Gasatmosphäre bevorzugt Wasserstoff (H₂) oder eine Wasserstoff enthaltende Mischung eingesetzt wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Niederdruckplasma-Strecke in ihren Umfangsbereichen geköhlt wird.
 4. Vorrichtung zum Inertisieren toxischer Gase oder toxischer vergasbarer Stoffe, mit einer Quelle (12) für Reaktionsgas, einem Dosierblock (14) zum Vermischen des toxischen Stoffes in Gasform mit dem Reaktionsgas; einer Niederdruckplasma-Strecke (16, 18), auf der auf das Gasgemisch zum Zerlegen des toxischen Stoffes in kleinere chemische Einheiten Mikrowellenenergie mindestens einer ersten wählbaren Frequenz und ausreichender Intensität aufgegeben wird;
 einer Analysevorrichtung zum Erfassen und Auswerten der charakteristischen Lichtabstrahlung des Plasmas;
 einem Austrittsblock (60) zum Bilden fester und gasförmiger Reaktionsprodukte, einem Abscheider (60) für die festen Reaktionsprodukte und einer Absaugeinrichtung (82) für die gasförmigen Reaktionsprodukte;
dadurch gekennzeichnet, daß ein den Reaktionsraum (16, 18) vollständig umgebendes Mikrowellen-Hohlleitersystem (20, 30, 40) und eine mit dem Austrittsblock (60) verbundene Quelle (70) für Quench-Gas oder Reaktivgas vorgesehen ist.

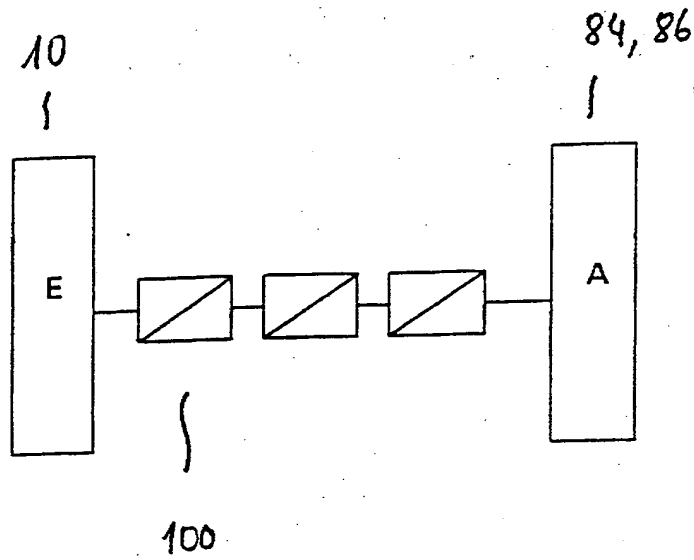
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktionsraum aus einem inneren Rohr (16) und einem dieses mit radialem Abstand umgebenden äußeren Rohr (18) besteht, wobei der lichte Raum zwischen dem inneren (16) und dem äußeren (18) Rohr einen Kühlmitteldurchlaß bildet.
 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das innere Rohr (16) ein Quarzrohr ist.
 7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das äußere Rohr (18) ein Metallrohr ist.
 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Inneren des inneren Rohres (16) ein Drucksensor vorgesehen ist.
 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß im Kühlmitteldurchlaß ein Drucksensor vorgesehen ist.
 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Absaugeinrichtung für die gasförmigen Reaktionsprodukte eine Trockenläufer-Pumpe (82) umfaßt.
 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß stromabwärts des Austrittsblocks (60) eine Rückföhrung zu einem Verdampfer für toxische Stoffe vorgesehen ist.
 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrowellen-Hohlleitersystem aus mindestens zwei Stufen (20, 30, 40) besteht, wobei in wenigstens einer der nachfolgenden Stufen (30, 40) Mikrowellenenergie mit im wesentlichen derselben Frequenz wie der der ersten Stufe (20) aufgegeben wird.
 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrowellen-Hohlleitersystem aus mindestens zwei Stufen (20, 30, 40) besteht, wobei in den nachfolgenden Stufen (30, 40) Mikrowellenenergie mit einer Frequenz unterschiedlich von der der ersten Stufe (20) aufgegeben wird.
 14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in allen Stufen des Mikrowellen-Hohlleitersystem (20, 30, 40) Mikrowellenenergie mit unterschiedlichen Frequenzen aufgegeben wird.
 15. System aus mehreren Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtungen (100) mit einer gemeinsamen Eingabeeinheit (10) für toxische Stoffe und einer gemeinsamen Ausgabeeinheit (84, 86) verbunden und zueinander parallel geschaltet sind.
 16. System aus mehreren Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtungen (100) in bezug auf eine gemeinsame Eingabeeinheit (10) für toxische Stoffe und eine gemeinsame Ausgabeeinheit (84, 86) in Reihe geschaltet sind.
 17. System nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß aufeinanderfolgende Vorrichtungen (100) mit verschiedenen Reaktionsgasen beaufschlagt sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

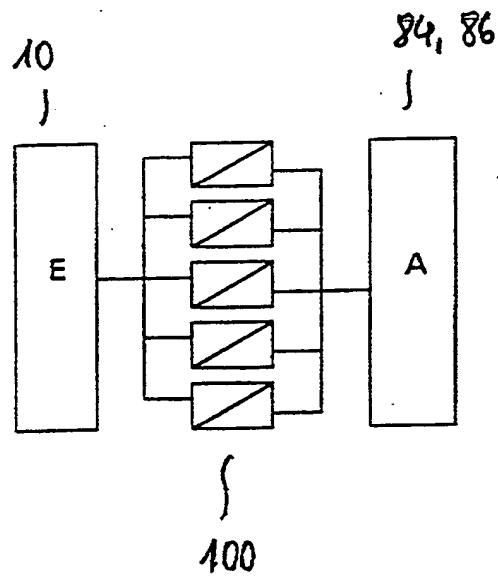
- Leerseite -



Figur 1



Figur 2



Figur 3